

УДК 552.321.1:550

DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-20-28

ОЦЕНКА ФЛАНГОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПО ПЕРВИЧНЫМ И ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ. УРОВЕНЬ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА И ПОКАЗАТЕЛЬ ЗОНАЛЬНОСТИ

© С.В. Ефремов¹, А.В. Зорх², Н.В. Назаров³, М.А. Липин⁴¹⁻⁴Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

Данная статья является первой в серии статей, главная цель – иллюстрация использования геохимических методов для оценки флангов известных месторождений на присутствие промышленных рудных объектов. Фактическим материалом для научных исследований стали результаты геохимического опробования коренных и рыхлых горных пород в пределах рудного поля одного из месторождений Си-Мо рудной формации Центральной Монголии.

Первая статья цикла выполняет «вспомогательные» функции и посвящена определению параметров рудных тел и зон, поправочных коэффициентов, необходимых для количественной оценки геохимических аномалий, выявленных геохимическими съемками по первичным и вторичным ореолам в пределах рудного поля месторождения.

В статье с использованием объемных моделей рудных тел, их вертикальных и горизонтальных проекций были: 1) уточнены морфология и размеры рудного тела; 2) уточнен вертикальный размах оруденения; 3) оценен объем минерализации; 4) установлен ряд геохимической зональности; 5) создана метрика месторождения; 6) создан показатель зональности для оценки уровня эрозионного среза; 7) создан коэффициент пропорциональности, позволяющий корректировать ресурсы металла в зависимости от уровня эрозионного среза рудного объекта.

Полученные результаты будут использованы для количественной оценки первичных и вторичных литогеохимических аномалий, выявленных геохимическими съемками на флангах изученного месторождения. По результатам этой оценки будет выполнена разбраковка этих аномалий с выделением рудных объектов, перспективных для постановки дальнейших геологических работ. Результаты этих исследований будут изложены в двух последующих статьях цикла. Вторая статья будет посвящена результатам поверхностных литогеохимических съемок по первичным ореолам, третья – результатам литогеохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния.

Ключевые слова: первичные ореолы, геохимическая зональность, показатель зональности.

Формат цитирования: Ефремов С.В., Зорх А.В., Назаров Н.В., Липин М.А. Оценка флангов рудных месторождений с помощью геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам. Уровень эрозионного среза и показатель зональности // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 20–28. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-20-28.

¹Ефремов Сергей Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, зав. кафедрой геологии, геохимии полезных ископаемых ИРНТУ, старший научный сотрудник лаборатории геохимии гранитоидного магматизма и метаморфизма Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, тел.: (3952) 405653, e-mail: esv@istu.edu

Efremov Sergey, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Department of Minerals Geology and Geochemistry of INRTU, Senior researcher of the Laboratory of Granitoid Magmatism Geochemistry and Metamorphism of the Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, tel.: (3952) 405653, e-mail: esv@istu.edu

²Зорх Анастасия Владимировна, студентка, тел.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

Zorkh Anastasia, Student, tel.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

³Назаров Назар Вячеславович, студент, тел.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

Nazarov Nazar, Student, tel.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

⁴Липин Михаил Анатольевич, студент, тел.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

Lipin Mikhail, Student, tel.: (3952) 405653, e-mail: ggpi@istu.edu

ORE DEPOSIT FLANKS ESTIMATION BY GEOCHEMICAL SURVEYS ON PRIMARY AND SECONDARY HALO. THE LEVEL OF EROSIONAL TRANCATION AND THE ZONING INDICATOR

S.V. Efremov, A.V. Zorkh, N.V. Nazarov, M.A. Lipin

Institute of Geochemistry SB RAS, 1-a Favorsky St., Irkutsk, Russia, 664033.

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664074.

This article is the first in the series of articles focused on the illustration of the use of geochemical methods for the evaluation of the presence of commercial ore objects in the flanks of the known ore deposits. The results of geochemical sampling of indigenous and loose rocks within the ore field of one of the Cu-Mo deposits of ore formation in Central Mongolia form the factual material for the scientific research.

The first article of the cycle has "auxiliary" functions and deals with the determination of ore bodies and zones parameters, correction factors necessary for the quantitative estimation of geochemical anomalies identified by geochemical surveys on primary and secondary halos within ore field deposits.

Using volumetric models of ore bodies, their vertical and horizontal projections the article 1) clarifies the morphology and size of the ore body; 2) specifies the scale of mineralization; 3) estimates the amount of mineralization; 4) determines a series of geochemical zoning; 5) creates field metrics; 6) develops a zoning indicator for erosional truncation level evaluation; 7) develops a proportionality factor, which allows to adjust metal resources depending on the level of ore object erosional truncation.

The obtained results will be used for quantitative evaluation of primary and secondary litho-geochemical anomalies identified by geochemical surveys on the flanks of the studied field. Inspection of these anomalies involving the identification of ore objects promising for further geological work will be performed according to the results of this evaluation. The results of these studies will be presented in two subsequent articles of the cycle. The second article will focus on the processing of surface litho-geochemical surveys on primary halos, the third article will deal with the processing of the results of litho-geochemical surveys on the secondary dispersion halos.

Keywords: primary halos, geochemical zoning, zoning indicator

For citation: Efremov S.V., Zorkh A.V., Nazarov N.V., Lipin M.A. Ore deposit flanks estimation by geochemical surveys on primary and secondary halo. The level of erosional truncation and the zoning indicator. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 3 (56). Pp. 20–28. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-20-28.

Введение

После начала эксплуатации любого месторождения полезных ископаемых возникают задачи по увеличению его ресурсной базы. Обусловлено это рядом факторов, таких как снижение со временем разведанных запасов, желание продлить срок эксплуатации рудного объекта, повысить его рентабельность и многое другое.

Для увеличения ресурсной базы обычно проводится доизучение глубоких горизонтов месторождения, выполняются работы на его флангах, в пределах рудного поля. Для этого используют «тяжелые» методы геологических поисковых работ, такие как бурение, проходка горных выработок, что само по себе сказывается на стоимости. В статье мы попытаемся описать способы решения аналогичных задач с помощью геохимических методов поиска, что не

исключает выполнения горных и буровых работ, однако способствует значительному снижению их объема и, соответственно, материальных затрат на их проведение.

Главными задачами поисково-оценочных работ являются оконтуривание перспективного участка и оценка его привлекательности с позиции содержащегося в нем полезного компонента. Эти задачи могут быть решены различными способами, в частности с помощью площадных литохимических геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам.

Эти методы легко справляются с оконтуриванием искомого рудного объекта, однако при их использовании возникает ряд сложностей с его количественной оценкой, главными из которых являются глубина распространения

рудной минерализации и уровень эрозионного среза.

Решению этих проблем посвящено много методических работ, большинство результатов которых суммированы в инструкциях по геохимическим методам поиска [1 и др.]. Большая часть этих методов основана на анализе вертикальной зональности рудных тел и рудных зон, что подразумевает изучение распределения химических элементов в разрезе месторождения. Иными словами, оценка флангов месторождения с помощью геохимических методов требует проведения предварительных методических работ в его пределах.

Данная статья посвящена выявлению ряда вертикальной зональности месторождения и созданию на его базе показателя зональности для оценки уровня эрозионного среза однотипных геологических объектов в пределах рудного поля и на флангах месторождения, а также оценке перспективности нижних горизонтов месторождения на присутствие промышленной минерализации.

Вторая статья серии будет посвящена результатам геохимических съемок по первичным ореолам: выделению перспективных рудных объектов, их количественной оценке с использованием полученного показателя зональности, оценке уровня эрозионного среза и размаха оруденения на глубину.

Третья статья серии будет описывать результаты геохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния: выделение перспективных рудных объектов, их количественную оценку с использованием полученного показателя зональности, оценку уровня эрозионного среза и размаха оруденения на глубину.

В качестве объекта исследований было взято одно из Cu-Mo месторождений Центральной Монголии, в пределах рудного поля которого были выполнены рассматриваемые виды геохимических съемок. Так как статья является методической, информация по региональной геологии и геологическому строению месторождения в ней опущена.

Ряд зональности и показатель зональности

Для понимания материала, изложенного в этом разделе, необходима расшифровка некоторых терминов. Главным из них является понятие о метрике месторождения. Обычно под метрикой понимается вертикальный поперечный схематический разрез через рудную зону. Разрез включает первичный ореол рудного тела и само рудное тело. Расстояние от верхней до нижней апикальных частей ореола принимается равным единице (параметр z). Расстояние от верхней апикальной части ореола до верхней части рудного тела условно оценивается в 0,2 единицы, а до нижней части рудного тела – в 0,8 единиц.

Ряд геохимической зональности (вертикальная, продольная, латеральная) соответствует ряду мобильности химических элементов в рудообразующем процессе. В ряду зональности химические элементы располагаются в порядке увеличения способности к миграции. Для конкретного месторождения ряд зональности индивидуален.

Показатель зональности – выражение, основанное на произведении и отношении химических элементов из ряда зональности. В числителе – наиболее мобильные, в знаменателе – наименее мобильные элементы. Показатель зональности обычно представляется в виде функции $z = v(x)$, где x – сечения через рудную зону.

Показатель зональности в совокупности с метрикой месторождения позволяет оценить уровень эрозионного среза, однотипного с изученным месторождением рудного объекта, в пределах его флангов и рудного поля в целом.

Для определения ряда вертикальной геохимической зональности необходимо иметь геохимический разрез через рудную зону с сечениями, расположенными на разных гипсометрических уровнях. Подобные разрезы обычно строятся по профилям скважин, пройденных вкрест простирания рудной зоны, однако

могут быть использованы и другие подходы.

В пределах изученного месторождения было пройдено большое количество поверхностных горных выработок и буровых скважин. Эта сеть наблюдений позволила построить трехмерную модель месторождения. Для проверки качества построения объемных фигур использовался метод сечений (через 50 м по вертикали), в пределах которых определялась равномерность поисковой сети с помощью критерия χ^2 [2].

В статье для технических расчетов была использована объемная модель рудной зоны, построенная с помощью пакета Voxler 3.0 компании Golden Soft (рис.1, а). Учитывая, что основным полезным компонентом является Мо, было рассчитано распределение концентраций этого металла в пространстве месторождения. Для визуализации рудной зоны использована средняя концентрация в ее первичном ореоле $(C_{MAX,O} - C_{MINAN})/2 = 145$ г/т, где $C_{MAX,O}$ – максимальная концентрация в ореоле (300 г/т [1]); C_{MINAN} – минимально-аномальное (10 г/т), рассчитанное по данным опробования с использованием стандартной процедуры, изложенной в инструкции по геохимическим методам поиска [1].

Полученная объемная модель показывает, что первичный ореол рудной зоны имеет довольно сложную форму. Это требует дополнительных работ для задания секущих плоскостей по восстановлению рудной зоны, поскольку секущие плоскости должны надежно характеризовать надрудный, рудный и подрудный интервалы.

Для этих целей было выбрано продольное сечение через рудную зону, «разрезающее» ее в максимальных по мощности частях. Графическое изображение плоскости, секущей рудную зону, приведено на рис. 1, б, а ее вертикальная проекция – на рис. 2.

Перпендикулярно этой плоскости по восстановлению рудной зоны были проведены 9 сечений, характеризующих надрудный (1, 2), рудный (3, 4, 5, 6, 7) и подрудный (8, 9) интервалы. На рис. 2 места пересечения этих плоскостей даны прямыми линиями, распределение Мо в плоскости самих сечений приведено на рис. 3. Для определения ряда зональности подобные сечения были построены для всех химических элементов. Учитывая, что граница рудного тела определяется экономическими соображениями и не является постоянной, рудной считалась концентрация, превышающая максимальную в первичном ореоле рассеяния (для Мо – 300 г/т [1]).

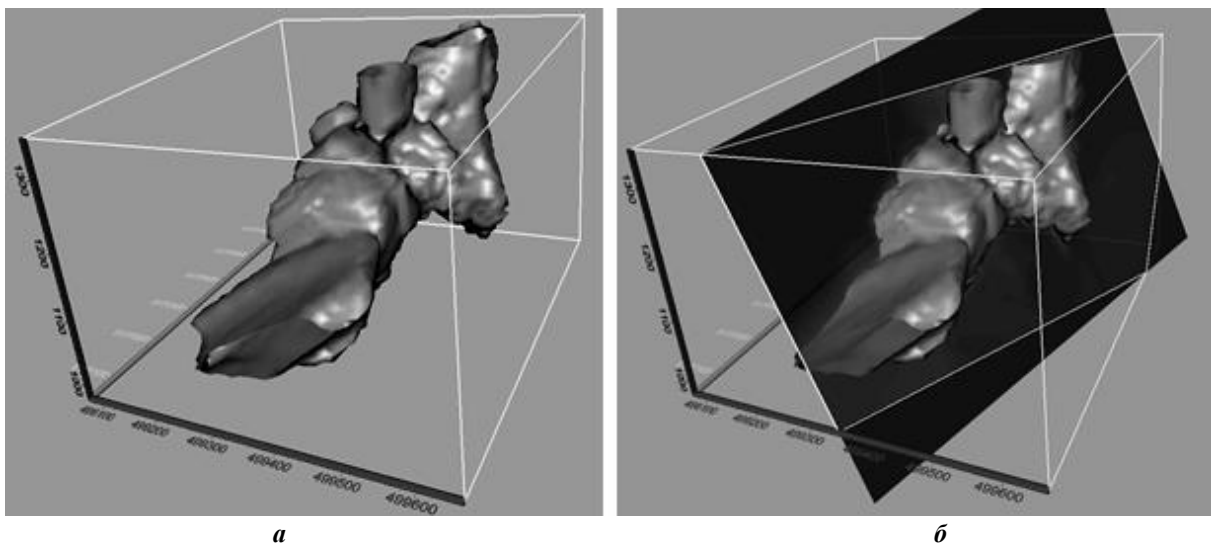


Рис. 1. Объемная модель месторождения:
а – морфология рудной зоны; б – плоскость, секущая рудную зону
в местах максимальной ширины первичного ореола

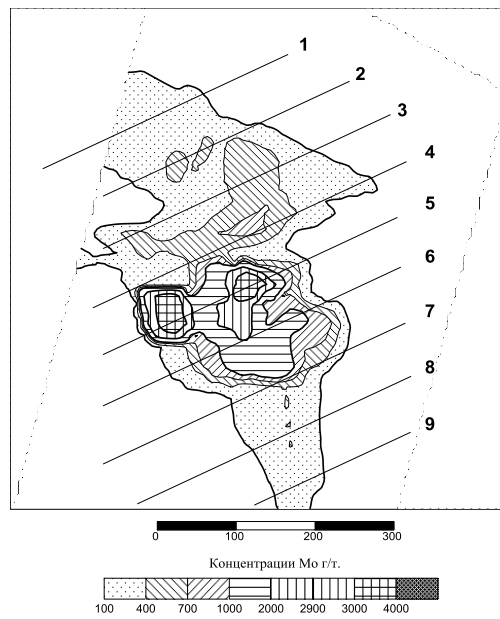


Рис. 2. Сечения через рудную зону и концентрации Mo



Рис. 3. Распределение Mo в пределах сечений через рудную зону:
1-9 – сечения

Для расчета ряда зональности использовался фрагмент алгоритма компьютерной программы Нью 2 [1, 3]. На первом этапе рассчитывались площадные продуктивности всех химических элементов в каждом из выбранных сечений.

Площадная продуктивность – количество металла в плоскости ореола; в трехмерной проекции пропорциональна объему фигуры, «отсекаемой» плоскостью, параллельной плоскости X-Y с величиной параметра z , равной минимально-аномальному, от математической поверхности, описывающей распределение химического элемента. Построение математических поверхностей и расчет продуктивностей проводился с помощью пакета Surfer 11, результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1
Продуктивности аномалий

Сечение	Mo	Cu	W
1	162201	877805	77278
2	271183	1400906	88047
3	392875	1436288	10797 3
4	283225	658882	9102
5	973539	1085738	61289
6	586092	330093	3787
7	287510	145568	15141
8	143491	20098	1196
9	36714	1	1

При расчете ограничение числа химических элементов происходит естественным образом, так как продуктивность не рассчитывается, если концентрации не превышают минимально-аномальное значение. В нашем случае осталось только три химических элемента – Mo, Cu и W, что вполне согласуется с данными по другим Cu-Mo порфировым месторождениям [3].

Далее сравниваются графики погоризонтных (сечения) парных отношений продуктивностей химических элементов. Для этих целей используется положение «центров тяжести» графиков в метрике опробованных уровней (сече-

ний). Вычисление центров тяжести графиков ведется по формуле: $\Sigma f_i \cdot v_i / \Sigma v_i$, где i – от 1 до f , (f – номера опробованных уровней (сечений)); v_i – величина парных отношений продуктивностей химических элементов на опробованном уровне.

Вычисляется полная квадратная матрица центров тяжести всех графиков парных отношений, которые затем усредняются (без учета диагонали матрицы). По полученным значениям (снизу вверх) строится ряд зональности.

Матрица центров тяжести и ряд вертикальной зональности месторождения приведены в табл. 2. В полученном ряду зональности наименее мобильным химическим элементом является Mo, а наиболее мобильным – Cu, что вполне согласуется с данными по другим Cu-Mo порфировым месторождениям.

Таблица 2
Ряд зональности

	Mo	Cu	W
Mo	1	9,00	8,98
Cu	2,63	1	4,87
W	2,32	7,51	1
Среднее	2,47	8,25	6,92
Ряд зональности			
Элемент	Mo	W	Cu
Вес	2,47	6,92	8,25

Существует два главных требования к показателю зональности: он должен монотонно убывать на всем интересующем нас интервале (надрудный – рудный – подрудный); амплитуда его колебаний должна составлять несколько порядков.

В нашем случае обычно используемое для Cu-Mo порфировых месторождений в качестве показателя зональности отношение Cu/Mo дает монотонный убывающий график, однако величина его колебаний недостаточно велика. В связи с этим показатель зональности был приведен к виду Cu^2/Mo , что придало ему необходимые качества.

На рис. 4 приведен график этого показателя зональности для различных сечений рудной зоны. Этот график дополнен метрикой рудной зоны и линией регрессии, уравнение которой также приведено на рисунке. С помощью этого графика вполне возможна оценка уровня эрозионного среза рудного объекта, выявленного в результате геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам.

Размах оруденения

Помимо показателя зональности для количественной оценки аномалий необходимо знать размах оруденения.

Он может быть определен по конфигурации первичного ореола для главного рудного компонента и размерам рудных тел, определяемых по сечениям через рудную зону.

На рис. 5 приведена объемная модель первичного ореола рассеяния Mo, «подрезанного» по минимально-аномальному значению. Ореол имеет конусообразную форму и резко выклинивается с глубиной, что свидетельствует об отсутствии рудной минерализации на нижних горизонтах месторождения. Это позволяет ограничить максимальный размах рудной минерализации в 350–400 м.



Рис. 4. Показатель зональности с метрикой месторождения

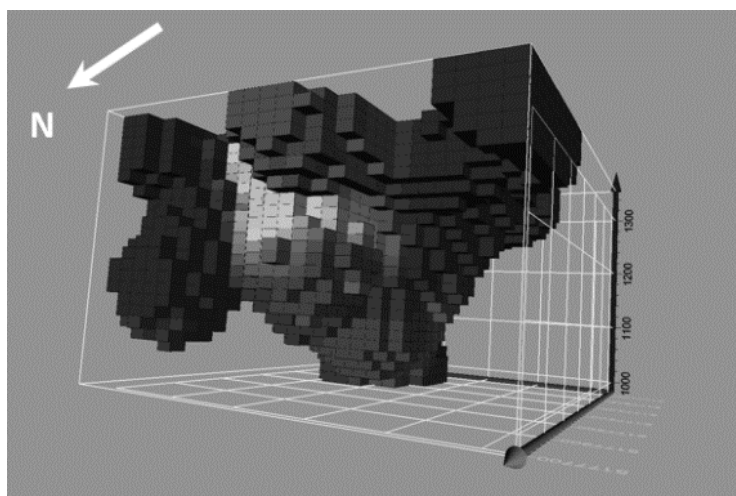


Рис. 5. Объемная модель первичного ореола (Mo, граница 10 г/т)

Размеры рудного тела можно оценить, используя сечение, проведенное по восстановлению рудной зоны (см. рис. 2) и перпендикулярное ему сечение № 5 (см. рис. 3), в области максимальных «раздувов» первичного ореола (см. рис. 1, а). Максимальные размеры рудного тела в этом сечении – $200 \times 300 \times 175$ м, однако, учитывая склонение рудной зоны, максимальный размах оруденения, используемый при количественной оценке аномалий, не должен превышать минимального размера рудного тела – 175 м.

Коэффициент пропорциональности ρ

Еще одной актуальной проблемой является оценка аномалий, находящихся на надрудном уровне эрозионного среза. В этом случае полученные при расчетах количества металла не отражают реальные объемы минерализации и для приведения их в соответствие используется коэффициент пропорциональности ρ . Этот коэффициент определяется для конкретного месторождения, однако может быть использован для генетически близких месторождений в пределах единого рудного поля. Как и показатель зональности, он представляется в виде графика от величины z , на интервале 0–1 в

зависимости от уровня эрозионного среза z .

Коэффициент рассчитывается как отношение сечения с максимальной продуктивностью в рудной зоне к продуктивности каждого из сечений на интервале z от 0 до 0,5 и отношение продуктивности сечения к максимальной продуктивности на интервале 0,5–1. Полученные значения откладываются в координатах $z - \rho$. Подобный график для рассматриваемого месторождения приведен на рис. 6.

При реальных работах на рудных месторождениях ряд зональности, показатель зональности и коэффициент пропорциональности ρ определяются по нескольким пересечениям рудной зоны либо по нескольким рудным зонам, затем все показатели усредняются. Однако в нашем случае работа имеет иллюстративный характер: мы остановимся на одном сечении рудной зоны.

Заключение

В результате выполненных исследований были подготовлены данные и параметры, необходимые для количественной оценки аномалий, выявленных при площадных литохимических съемках по первичным и вторичным ореолам.

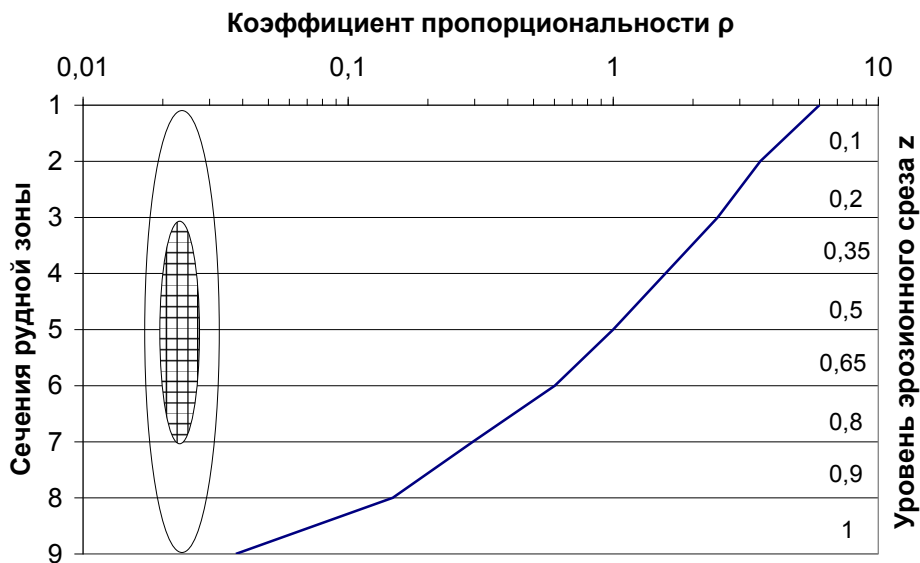


Рис. 6. Коэффициент пропорциональности ρ

Построен ряд вертикальной зональности в пределах эталонного месторождения, на его основе создан показатель зональности, что позволяет оценить уровень эрозионного среза генетически однотипных рудных объектов.

Оценены размеры рудных тел, максимальный размах промышленного оруденения, максимальный размах рудной

минерализации, возможность развития промышленной минерализации на глубоких уровнях месторождения.

Создана зависимость $z - \rho$, необходимая для введения поправок при оценке количества металлов первичного ореола, находящихся на различных уровнях эрозионного среза.

Библиографический список

1. Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 335 с.

2. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. М.: Мир, 1977. 572 с.

3. Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Изд. 2-е. М.: Изд-во МГУ, 1985. 232 с.

References

1. Solovov A.P., Arkhipov A.Ya., Bugrov V.A. *Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopaemykh* [Reference book on geochemical exploration of minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p.

2. Devis Dzh.S. *Statisticheskii analiz dannykh v geologii* [Statistical analysis of

data in geology]. Moscow, Mir Publ., 1977. 572 p.

3. Solovov A.P., Matveev A.A. *Geokhimicheskie metody poiskov rudnykh mestorozhdenii* [Geochemical methods of ore deposit exploration]. 2nd ed. Moscow, MGU Publ., 1985. 232 p.

*Статья поступила 01.09.2016 г.
Article received 01.09.2016.*